



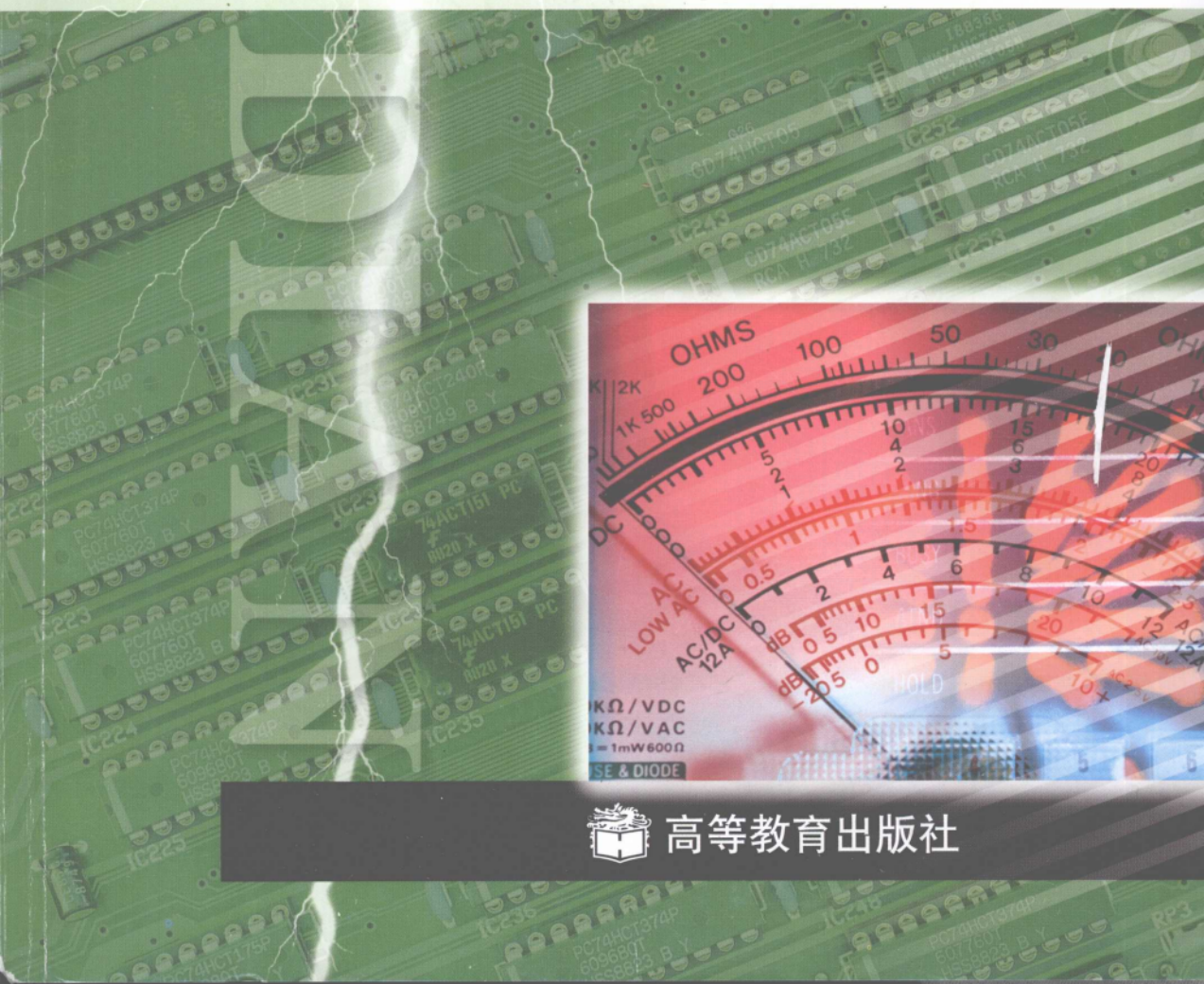
中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

电子测量仪器

第2版

(电子技术应用专业)

主编 李明生



高等教育出版社

高等教育出版社

中等职业教育工程技术基础、电子电器、电子信息类专业

国家规划教材及配套教学用书目录

专业基础课程

电工技术 (附学习卡 / 防伪标)	曾祥富
电工技术	赵承荻
电工技术实验与实训	赵承荻
电工技术练习册	赵承荻
电工技术教学参考书	赵承荻
电子技术 (附学习卡 / 防伪标)	石小法
电子技术	张友汉
电子技术实验与实训	张友汉
电子技术练习册	张友汉
电子技术教学参考书 (配套光盘)	张友汉
电工与电子技术 (附学习卡 / 防伪标)	文春帆
电工与电子技术 (附学习卡 / 防伪标)	程 周
电工与电子技术实验与实训 (配套光盘)	程 周
电工与电子技术练习册 (配套光盘)	程 周
电工与电子技术教学参考书 (配套光盘)	程 周
电工基础 (附学习卡 / 防伪标)	薛 涛
电工基础 (附学习卡 / 防伪标)	刘志平
电工基础学习辅导与练习	刘志平
电工基础 (简明版) (附学习卡 / 防伪标)	周绍敏
电工基础 (附学习卡 / 防伪标)	周绍敏
电工基础学习辅导与练习 (配套光盘)	周绍敏
电工基础教学参考书 (配套光盘)	周绍敏
电工基础实验 (配套光盘)	程 周
电工基础实验 (配套光盘)	王慧玲
电子技术基础 (附学习卡 / 防伪标)	陈振源
电子技术基础学习指导与同步训练 (配套光盘)	陈振源
电子技术基础 (附学习卡 / 防伪标)	张龙兴
电子技术基础学习辅导与练习	张龙兴
电子技术基础教学参考书	张友汉
电子技术基础 (附学习卡 / 防伪标)	彭利标
电子技术基础实验指导	孙义芳
电子线路 (双色) (附学习卡 / 防伪标)	陈振源
电子线路练习与单元测试 (作业簿式)	陈振源
电子线路 (附学习卡 / 防伪标)	陈其纯
电子线路学习辅导与练习 (配套光盘)	陈其纯
电子线路教学参考书 (配套光盘)	周 晖
电子线路实验与实训 (配套光盘)	林理明

通信技术专业

数字通信技术 (附学习卡 / 防伪标)	林理明
通信网基础	聂辉海
通信网络基础	李昭慧
程控交换原理与设备	罗建国
电话机原理与维修	陈振源
有线电视技术	陈振源
通信用户终端设备(电话机)维修实训	邹开跃
手机原理与维修	陈振源
通信营业服务基础	贾听莉

电子电器应用与维修专业

电子电器应用与维修概论	程 周
电子电器产品市场与经营	张百章
电工技能与实训 (配套光盘)	曾祥富
电子技能与实训 (配套光盘)	石小法
电热电动机具原理与维修 (附学习卡 / 防伪标)	荣俊昌
电热电动机具维修实训 (配套光盘)	荣俊昌
电冰箱、空调器原理与维修 (附学习卡 / 防伪标)	林金泉
电冰箱与空调器维修实训 (配套光盘)	杨立平
电机与控制 (附学习卡 / 防伪标)	李乃夫
电动机维修实训	李乃夫
音响设备原理与维修 (附学习卡 / 防伪标)	徐治乐
音响设备维修实训 (配套光盘)	王军伟
电视机原理与维修 (附学习卡 / 防伪标)	章 夔
电视机维修实训 (配套光盘)	章 夔
数字电视和机顶盒原理与维修 (附学习卡 / 防伪标)	章 夔
VCD、DVD 原理与维修	袁锡明
办公通信设备原理与维修	唐瑞海
机械常识与钳工技能	戚长政

电子技术应用专业

电子测量仪器 (配套光盘)	李明生
电子整机原理——音响设备	杨海洋
电子整机原理——数字视听设备	史新人
电子整机原理——彩色电视机	李伟辉
电子整机维修实习——音响设备	耿德普
电子整机维修实习——数字视听设备	钟光明
电子整机维修实习——彩色电视机	曾日波
电子整机装配实习	陈其纯
电子技术技能训练 (附学习卡 / 防伪标)	杨元挺
电工技能训练 (附学习卡 / 防伪标)	张中洲
单片机原理及应用技术 (附学习卡 / 防伪标)	刘振海

电子与信息技术专业

单片机原理与应用 (附学习卡 / 防伪标)	梁洁婷
单片机应用综合实习指导 (配套光盘)	梁洁婷
移动通信设备	伍湘彬
电子设计自动化技术	李新平
电子产品检验	刘豫东
电子产品结构工艺 (配套光盘)	钟名湖
电子信息专业英语	邓 红
实用电子信息专业英语 (配套光盘)	黎绮明

ISBN 978-7-04-023418-3



9 787040 234183 >

定价 24.40 元

中等职业教育国家规划教材

全国中等职业教育教材审定委员会审定

电子测量仪器

第2版

(电子技术应用专业)

主 编 李明生

责任主审 刘蕴陶

审 稿 金淮丰

高等教育出版社

内容提要

本书是中等职业教育国家规划教材,根据教育部颁布的中等职业学校电子技术应用专业教学指导方案,同时参考了有关行业的职业技能鉴定规范及中级技术工人等级考核标准,在保留 2002 年出版的中等职业教育国家规划教材《电子测量仪器》(第 1 版)编写风格的基础上,根据近几年中职生源的变化情况,贯彻落实“以服务为宗旨,以就业为导向,以能力为本位”的职业教育办学指导思想,修订而成。

本书主要内容有:电子测量和仪器的基本知识,常用电子测量仪器(电子电压表、信号源、电子示波器、电子计数器、频率特性测试仪、频谱分析仪、半导体管特性图示仪、万用电桥、Q 表等)的基本组成、基本操作和基本应用;本书还对逻辑分析仪、数字存储示波器和基于(Based on)计算机的仪器作了一定的介绍。

本书配套多媒体光盘,充分利用计算机多媒体动画技术、仿真技术、虚拟现实技术等,模拟仪器仪表的实际使用以及实验实训的操作步骤。课件兼有助教与助学功能,有丰富的动画、仿真资源,可用于教师课堂上的教学演示;也设计了学生互动模块,兼顾学生自操自练。

本书可作为中等职业学校电子技术应用及相关专业教材,可供不同学制、不同地区的学校灵活选用,也可作为岗位培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

电子测量仪器 / 李明生主编. —2 版. —北京:高等教育出版社,2008.6

电子技术应用专业

ISBN 978 - 7 - 04 - 023418 - 3

I. 电… II. 李… III. 电子测量设备 - 专业学校 - 教材
IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 051748 号

策划编辑 韦晓阳 责任编辑 唐笑慧 封面设计 李卫青 责任绘图 黄建英
版式设计 张 岚 责任校对 胡晓琪 责任印制 尤 静

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
总 机 010 - 58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 化学工业出版社印刷厂

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 14.75
字 数 350 000

购书热线 010 - 58581118
免费咨询 800 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2002 年 7 月第 1 版
2008 年 6 月第 2 版
印 次 2008 年 6 月第 1 次印刷
定 价 24.40 元(含光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 23418 - 00

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010)58581897/58581896/58581879

传 真：(010)82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100120

购书请拨打电话：(010)58581118

中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神,落实《面向21世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划,根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》(教职成[2001]1号)的精神,我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写,从2001年秋季开学起,国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和80个重点建设专业主干课程的教学大纲(课程教学基本要求)编写,并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想,从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发,注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本,努力为学校选用教材提供比较和选择,满足不同学制、不同专业和不同办学条件的学校的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材,并在使用过程中,注意总结经验,及时提出修改意见和建议,使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

二〇〇一年十月

第2版前言

2002年出版的《电子测量仪器》(第1版)是中等职业教育国家规划教材。该书自出版以来,得到了中等职业学校教学一线教师的好评。但随着中等职业教育培养目标与教学模式的变化,以及电子测量技术日新月异的发展,原教材内容需要进一步更新。因此,为使该教材适应新的职业教育教学改革方向,更加贴近教学的实际需求,由高等教育出版社组织,对该教材进行了修订,修订时除了保持原版本的特点外,新版本作了以下尝试:

1. 教材内容注意与生源的实际情况相衔接,与毕业生的工作岗位实际要求相衔接。进一步降低教材的理论难度,全书只以框图的形式讲清仪器的工作原理。对仪器本身的讨论只保证学生能正确操作和使用即可。

2. 教材编写与行业职业技能鉴定标准相结合,兼顾考工要求。将考工要求的基本内容写进教材,使学生学完本课程后能达到考工要求。

3. 加大每章后的习题量,增加适量的考工题目,删除一些难度较大的习题。

4. 将第9章“智能仪器”改为“基于(Based on)计算机的仪器”,并增加了相关内容,以适应新形势的发展。

5. 教材修订过程中,重点章节注意通过“案例思考”安排教学内容,为学生接受和掌握教学内容提供了明确的思路。

教材中章节前面打*号的内容可适当选讲,第8章(逻辑分析仪)、第9章(基于计算机的仪器)可以不讲,亦可作为科普材料介绍。

该书配套电子测量仪器多媒体课件,课件充分利用计算机多媒体动画技术、仿真技术、虚拟现实技术等,对扫频仪、信号源、示波器、频域测量仪等电子测量仪器的外形、结构、面板及使用等内容用多媒体形式形象表现出来。三维动画可展示器件的外形全貌与内部结构;计算机仿真与判断可模拟仪器仪表的实际使用以及实验实训的操作步骤,对线路进行虚拟连接与测量。课件兼有助教与助学功能,有丰富的动画、仿真资源,可用于教师课堂上的教学演示;也设计了学生互动模块,兼顾学生自操自练。课件由高仕联、王静、张伟玲、金红主编。

第1版前言中建议的课时分配方案可根据情况作适当修改。

本书由淮安信息职业技术学院李明生主编,其中,淮安市高级职业技术学校徐永梅编写第2、3章,陈京培编写第4章,淮阴商业学校王恒龙编写第5、6章,李明生编写其余章节并统稿全书。该书由金淮丰审稿,审者为本书质量的进一步提高提出了宝贵意见。自该书第1版出版后,得到了许多工作在职业学校教学一线教师的关怀,他们提出了一些宝贵的意见和建议,在此一并表示衷心感谢。

由于编者学识和水平有限,不当和错误之处在所难免,敬请批评指正。

编者
2008年3月

第1版前言

本书是根据2001年教育部颁发的中等职业教育电子技术应用专业《电子测量仪器教学基本要求》编写的教材,并参考了有关行业标准,已被列为中等职业教育国家规划教材。

本书在编写中力图体现以下特色:

(1) 采用模块化结构,适应弹性学制的要求。整个教材分基本模块和选用模块。不同地区、不同学制、不同类型的学校和不同的专业都可根据自身条件选择教学内容,要保证达到教学基本要求。

(2) 不强调理论系统性,注意降低理论难度,以必要和够用为原则。全书基本上不涉及电子测量仪器内部线路的分析、讨论,只以组成框图讲清仪器的工作原理,有些仪器的工作原理以工作过程代替。仪器本身的讨论只保证学生能正确操作和使用即可。

(3) 拓宽知识面。教材编写中注重常用电子测量仪器(如电子电压表、电子示波器、电子计数器等)的讨论,保证学生掌握必备的基本知识和基本技能。

(4) 引进新产品、新测量技术。为了培养学生的综合职业能力,以适应新形势的要求,本书编写中注意介绍电子测量仪器的新产品,如数字存储示波器、逻辑分析仪、智能仪器等方面的知识。

(5) 加强实践能力的培养。编写中在适当降低理论难度的同时,着重强调电子测量仪器的正确使用及其在各个领域的广泛应用,培养学生的实践能力。

书中打*号的章节是供选用的内容,属于教学基本要求中的选用模块,其余内容是教学基本要求规定必修的基础模块。

本书基础模块教学为68学时。学时分配方案建议如下表,供参考。

68学时教学方案(含基础模块和实践性教学模块)

序号	课 程 内 容	学 时 数			
		合计	讲授	实验与实训	机动
1	电子测量和仪器的基本知识	4	4		
2	电子电压表	10	8	2	
3	信号源	6	6		
4	电子示波器	14	10	4	
5	电子计数器	8	6	2	
6	频域测量仪器	8	6	2	
7	电子元器件参数测量仪器	10	8	2	
8	智能仪器	4	4		
	机 动	4			4
	总 计	68	52	12	4

本书基础模块加选用模块教学为 80 学时。学时分配方案建议如下表,供参考。

80 学时教学方案(含基础模块和实践性教学模块)

序号	课 程 内 容	学 时 数			
		合计	讲授	实验与实训	机动
1	电子测量与仪器的基本知识	4	4		
2	电子电压表	10	8	2	
3	信号源	6	6		
4	电子示波器	18	14	4	
5	电子计数器	8	6	2	
6	频域测量仪器	8	6	2	
7	电子元件参数测量仪器	10	8	2	
8	逻辑分析仪	6	6		
9	智能仪器	4	4		
机 动		6			6
总 计		80	62	12	6

本书由淮安信息职业技术学院李明生主编,苏州高级工业学校袁培德和山东电子工业学校王莉参编。其中,袁培德编写第 5、7 章,李明生编写第 1、4、6、8 章,与王莉合编第 2 章,王莉编写第 3、9 章。全书由李明生统稿。本书由教育部聘请刘蕴陶教授主审,陈步峥、廖文国审稿,另外高等教育出版社还聘请株洲铁道职业技术学院高级讲师赵承荻审阅此稿,提出许多宝贵的修改意见,为提高本书的质量起到很好的作用,在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中还参考了扬中市光电仪器厂, HAMEG GmbH, 上海沪光科学仪器厂, Tektronix 公司以及南京涌新电子有限公司相关产品技术说明书,在此也表示感谢。

由于编者学识和水平有限,不当和错误之处在所难免,敬请批评指正。

编 者
2002. 1

目 录

第 1 章 电子测量和仪器的基本知识 ... 1	习题 113
1.1 测量及其意义 1	第 5 章 电子计数器 117
1.2 电子测量的意义和特点 1	5.1 概述 117
1.3 测量方法的分类 3	5.2 电子计数器的主要技术性能 ... 117
1.4 测量误差的基本概念 4	5.3 通用电子计数器的基本组成 ... 118
1.5 测量结果的表示及有效数字 8	5.4 通用电子计数器的测量原理 ... 120
1.6 电子测量仪器的基本知识 9	5.5 电子计数器的测量误差 125
本章小结 13	5.6 通用电子计数器典型产品 介绍 128
习题 13	本章小结 139
第 2 章 电子电压表 16	习题 139
2.1 概述 16	第 6 章 频域测量仪器 142
2.2 模拟式交流电压表 18	6.1 概述 142
2.3 数字电压表 28	6.2 频率特性测试仪 142
2.4 数字万用表 36	6.3 频谱分析仪 149
2.5 电压表的选择和使用 41	本章小结 155
本章小结 42	习题 155
习题 42	第 7 章 电子元器件参数测量仪器 ... 157
第 3 章 信号源 45	7.1 电子器件特性及参数测量 仪器 157
3.1 概述 45	7.2 集总参数元件测量仪器 167
3.2 正弦信号源 46	本章小结 180
3.3 函数信号发生器 59	习题 181
本章小结 63	* 第 8 章 逻辑分析仪 183
习题 63	8.1 数据域分析的基本知识 183
第 4 章 电子示波器 65	8.2 逻辑分析仪 185
4.1 概述 65	本章小结 195
4.2 如何真实显示电信号 65	习题 195
4.3 示波测试的基本原理 66	* 第 9 章 基于 (Based on) 计算机的 仪器 196
4.4 通用示波器 72	9.1 概述 196
4.5 数字存储示波器 89	9.2 智能仪器 197
4.6 示波器选择的一般原则 102	
4.7 示波器的基本测量方法 103	
本章小结 112	

9.3 虚拟仪器	201
9.4 自动测试系统	205
9.5 网络化仪器	214
本章小结	218

习题	219
部分习题参考答案	220
参考文献	224

// 第1章 电子测量和仪器的基本知识 //

学习目标:

- 1. 了解电子测量的内容、特点和基本方法。
- 2. 了解测量误差的来源与分类。
- 3. 掌握测量误差的表示方法。
- 4. 理解有效数字的概念,会对测量结果进行简单的数据处理。
- 5. 了解电子测量仪器的分类、仪器误差的表示方法;掌握其正确使用要点、维护措施等。

1.1 测量及其意义

测量是人类对客观事物取得数量概念的认识过程。在这种认识过程中,人们借助于专门的设备,依据一定的理论,通过实验的方法,求出以所用的测量单位来表示的被测量的量值或确定一些量值的依从关系。

通常,测量结果的量值由两部分组成:数值(大小及符号)和相应的单位名称。

一般地说,测量是一种比较过程,把被测的量与同种类的作为单位的量,通过一定的测量方法进行比较,以确定被测的量是该单位的若干倍。测量同一物理量所选单位越大,则测出的数值越小。

在科学技术发展过程中,测量结果不仅用于验证理论,而且是发现新问题、提出新理论的依据。历史事实证明:科学的进步、生产的发展与测量理论技术手段的发展和进步是相互依赖、相互促进的。测量手段的现代化,已被公认为是科学技术和生产现代化的重要条件和明显标志。

1.2 电子测量的意义和特点

1.2.1 电子测量的意义

随着测量学的发展和无线电电子学的应用,诞生了以电子技术为手段的测量,即电子测量。

电子测量涉及极宽频率范围内所有电量、磁量以及各种非电量的测量。目前,电子测量不仅因为其应用广泛而成为现代科学技术中不可缺少的手段,同时也是一门发展迅速、对现代科学技术的发展起着重大推动作用的独立学科。从某种意义上来说,近代科学技术的水平是由电子测量的水平来保证和体现的;电子测量的水平是衡量一个国家科学技术水平的重要标志之一。

1.2.2 电子测量的内容

本课程中电子测量的内容是指对电子学领域内电参量的测量,主要有:

① 电能量的测量 如电流、电压、功率等的测量。

② 电路、元器件参数的测量 如电阻、电感、电容、阻抗的品质因数、电子器件参数等的测量。

③ 电信号特性的测量 如频率、波形、周期、时间、相位、谐波失真度、调幅度及逻辑状态等的测量。

④ 电路性能的测量 如放大倍数、衰减量、灵敏度、通频带、噪声指数等的测量。

⑤ 特性曲线的显示 如幅频特性、器件特性等的显示。

上述各种待测参数中,频率、电压、时间、阻抗等是基本电参数,对它们的测量是其他许多派生参数测量的基础。

另外,通过传感器,可将很多非电量如温度、压力、流量、位移等转换成电信号后进行测量,但这不属于本书讨论的范围。

1.2.3 电子测量的特点

同其他的测量相比,电子测量具有以下几个突出的特点:

1. 测量频率范围宽

电子测量除测量直流电量外,还可以测量交流电量,其频率范围可低至 10^{-4} Hz, 高至 10^{12} Hz 左右。但应注意,在不同的频率范围内,即使测量同一种电量,所需要采用的测量方法和使用的测量仪器也往往不同。

2. 仪器测量范围广

量程是仪器所能测量各种参数的范围。电子测量仪器具有相当宽广的量程。例如,一台数字电压表,可以测出从纳伏(nV)级至千伏(kV)级的电压,其量程达9个数量级;一台用于测量频率的电子计数器,其量程可达17个数量级。

3. 测量准确度高

电子测量的准确度比其他测量方法高得多,特别是对频率和时间的测量,误差可减小到 10^{-13} 数量级,是目前人类在测量准确度方面达到的最高指标。电子测量的准确度高,是它在现代科学技术领域得到广泛应用的重要原因之一。

4. 测量速度快

由于电子测量是通过电磁波的传播和电子运动来进行的,因而可以实现测量过程的高速度,这是其他测量所不能比拟的。只有测量的高速度,才能测出快速变化的物理量。这对现代科学技术的发展具有特别重要的意义。例如,原子核的裂变过程、导弹的发射速度、人造卫星的运行参数等的测量,都需要高速度的电子测量。

5. 易于实现遥测

电子测量的一个突出优点是可以通过各种类型的传感器实现遥测。例如,对于遥远距离或环境恶劣的、人体不便于接触或无法达到的区域(如深海、地下、核反应堆内、人造卫星等),可通过传感器或通过电磁波、光、辐射等方式进行测量。

6. 易于实现测量自动化和测量仪器微机化

由于大规模集成电路和微型计算机的应用,使电子测量出现了崭新的局面,例如在测量中能实现程控、自动量程转换、自动校准、自动诊断故障和自动修复,对测量结果可以自动记录、自动进行数据运算、分析和处理。目前已出现了类型众多的带微处理器的自动化示波器、数字频率计、数字式电压表以及受计算机控制的自动化集成电路测试仪、自动网络分析仪和其他自动测试系统。

电子测量的一系列特点,使它获得极其广泛的应用。今天,几乎找不到哪一个科学技术领域没有应用电子测量技术。大到天文观测、宇宙航天,小到物质结构、基本粒子,从复杂的生命、遗传问题到日常的工农业生产、科技、国防、运输、商业、生活等各领域,都越来越多地采用了电子测量技术与设备。

1.3 测量方法的分类

一个物理量的测量可以通过不同的方法来实现。测量方法的分类形式有多种,这里仅就电子测量中最常用的分类方法作简要介绍。

1.3.1 按测量方式分类

1. 直接测量

用预先按已知标准量定度好的测量仪器,对某一未知量直接进行测量,从而得到被测量值的方式称为直接测量。例如,用通用电子计数器测量频率,用电压表测量电路中的电压,都属于直接测量。

2. 间接测量

对一个与被测物理量有确定函数关系的物理量进行直接测量,然后通过代表该函数关系的公式、曲线或表格,求出被测量值的方式,称为间接测量。例如,要测量已知电阻 R 上消耗的功率,先测量加在 R 两端的电压 U ,然后再根据公式 $P = \frac{U^2}{R}$ 求出功率 P 之值。

3. 组合测量

在某些测量中,被测量与几个未知量有关,测量一次无法得出完整的结果,则可改变测量条件进行多次测量,然后按被测量与未知量之间的函数关系组成联立方程求解,得出有关未知量。此种方法称为组合测量,它是一种兼用直接测量与间接测量的方法。

上面介绍的三种方法中,直接测量的优点是测量过程简单迅速,在工程技术中采用得比较广泛。间接测量法多用于科学实验,在生产及工程技术中应用较少,只有当被测量不便于直接测量时才采用。至于组合测量,是一种特殊的精密测量方法,适用于科学实验及一些特殊的场合。

1.3.2 按被测信号的性质分类

1. 时域测量

时域测量是测量被测对象在不同时间的特性,这时把被测信号看成是一个时间的函数。例如,使用示波器显示被测信号的瞬时波形,测量它的幅度、宽度、上升沿和下降沿等参数。时域测

量还包括一些周期性信号的稳态参量的测量,如正弦交流电压,虽然它的瞬时值会随时间变化,但是交流电压的振幅和有效值是稳态值,可用指针式仪表测量。

2. 频域测量

频域测量是测量被测对象在不同频率时的特性。这时把被测对象看成是一个频率的函数。信号通过非线性电路会产生新的频率分量,能用频谱分析仪进行分析。放大器的幅频特性,可用频率特性图示仪予以显示。放大器对不同频率的信号会产生不同的相移,可使用相位计测量放大器的相频特性。

3. 数据域测量

对数字系统逻辑特性进行的测量。利用逻辑分析仪能够分析离散信号组成的数据流,可以观察多个输入通道的并行数据,也可以观察一个通道的串行数据。

4. 随机测量

随机测量是利用噪声信号源进行动态测量,例如各类噪声、干扰信号等。这是一种比较新的测量技术。

电子测量技术还有许多分类方法,如动态与静态测量技术、模拟和数字测量技术、实时与非实时测量技术、有源与无源测量技术等。

1.4 测量误差的基本概念

测量的目的就是希望获得被测量的实际大小即真值。所谓真值,就是在一定的时间和环境的条件下,被测量本身所具有的真实数值。实际上,由于测量设备、测量方法、测量环境和测量人员的素质等条件的限制,测量所得到的结果与被测量的真值之间会有差异,这个差异就称为测量误差。测量误差过大,可能会使得测量结果变得毫无意义,甚至会带来坏处。研究误差的目的,就是要了解误差产生的原因和发生的规律,寻求减小测量误差的方法,使测量结果精确可靠。

1.4.1 测量误差的表示方法

测量误差有两种表示方法:绝对误差和相对误差。

1. 绝对误差

(1) 定义

由测量所得到的被测量值 x 与其真值 A_0 之差,称为绝对误差,即

$$\Delta x = x - A_0 \quad (1.1)$$

式中, Δx ——绝对误差。

由于测量结果 x 总含有误差, x 可能比 A_0 大,亦可能比 A_0 小,因此 Δx 既有大小,又有正负符号。其量纲和测量值相同。

要注意,这里说的被测量值,是指仪器的示值。一般情况下,示值和仪器的读数有区别。读数是指从仪器刻度盘、显示器等读数装置上直接读到的数字,示值是该读数表示的被测量的量值,常常需要加以换算。

式(1.1)中, A_0 表示真值。真值是一个理想的概念,一般来说,是无法精确得到的。因此,实际应用中通常用实际值 A 来代替真值 A_0 。

实际值又称为约定真值,它是根据测量误差的要求,用高级或几级的标准仪器或计量器具测量所得之值,这时绝对误差可按下式计算

$$\Delta x = x - A \quad (1.2)$$

(2) 修正值

与绝对误差的绝对值大小相等,但符号相反的量值,称为修正值,用 c 表示

$$c = -\Delta x = A - x \quad (1.3)$$

对测量仪器进行定期检定时,用标准仪器与受检仪器相比对,以表格、曲线或公式的形式给出受检仪器的修正值。在日常测量中,使用该受检仪器测量所得到的结果应加上修正值,以求得被测量的实际值,即

$$A = x + c \quad (1.4)$$

2. 相对误差

绝对误差虽然可以说明测量结果偏离实际值的情况,但不能确切反映测量的准确程度,不便于看出对整个测量结果的影响。例如,对分别为 10 Hz 和 1 MHz 的两个频率进行测量,绝对误差都为 +1 Hz,但两次测量结果的准确程度显然不同。因此,除绝对误差外,再给出相对误差的定义。

绝对误差与被测量的真值之比,称为相对误差(或称相对真误差),用 γ 表示

$$\gamma = \frac{\Delta x}{A_0} \times 100\% \quad (1.5)$$

相对误差量纲为 1,只有大小及符号。由于真值是难以确切得到的,通常用实际值 A 代替真值 A_0 来表示相对误差,用 γ_A 来表示

$$\gamma_A = \frac{\Delta x}{A} \times 100\% \quad (1.6)$$

γ_A 称为实际相对误差。

在误差较小,要求不大严格的场合,也可用测量值 x 代替实际值 A ,由此得出示值相对误差,用 γ_x 来表示

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (1.7)$$

式中, Δx 由所用仪器的准确度等级定出。由于 x 中含有误差,所以 γ_x 只适用于近似测量。当 Δx 很小时, $x \approx A$, 有 $\gamma_x \approx \gamma_A$ 。

经常用绝对误差与仪器满刻度值 x_m 之比来表示相对误差,称为引用相对误差(或称满度相对误差),用 γ_m 表示

$$\gamma_m = \frac{\Delta x}{x_m} \times 100\% \quad (1.8)$$

测量仪器使用最大引用相对误差来表示它的准确度,这时有

$$\gamma_{mm} = \frac{\Delta x_m}{x_m} \times 100\% \quad (1.9)$$

式中, Δx_m ——仪器在该量程范围内出现的最大绝对误差;

x_m ——满刻度值;

γ_{mm} ——仪器在工作条件下不应超过的最大相对误差,它反映了该仪器综合误差的大小。

电工测量仪表按 γ_{mm} 值分 0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0 七级。1.0 级表示该仪表的最大引用相对误差不会超过 $\pm 1.0\%$ ，但超过 $\pm 0.5\%$ ，也称准确度等级为 1.0 级。准确度等级常用符号 S 表示。

例 1.1 两个电压的实际值分别为 $U_{1A} = 100 \text{ V}$ ， $U_{2A} = 10 \text{ V}$ ；测量值分别为 $U_{1x} = 98 \text{ V}$ ， $U_{2x} = 9 \text{ V}$ 。求两次测量的绝对误差和相对误差。

解：

$$\Delta U_1 = U_{1x} - U_{1A} = (98 - 100) \text{ V} = -2 \text{ V}$$

$$\Delta U_2 = U_{2x} - U_{2A} = (9 - 10) \text{ V} = -1 \text{ V}$$

$|\Delta U_1| > |\Delta U_2|$ 。两者的相对误差分别为

$$\gamma_{A1} = \frac{\Delta U_1}{U_{1A}} = -\frac{2}{100} \times 100\% = -2\%$$

$$\gamma_{A2} = \frac{\Delta U_2}{U_{2A}} = -\frac{1}{10} \times 100\% = -10\%$$

$|\gamma_{A1}| < |\gamma_{A2}|$ 。说明 U_2 的测量准确度低于 U_1 。

例 1.2 已知某被测电压为 80 V，用 1.0 级、100 V 量程的电压表测量。若只做一次测量就把该测量值作为测量结果，可能产生的最大绝对误差是多少？

解：在实际生产过程中，经常将一次直接测量的结果作为最终结果，所以讨论这个问题很具有实际意义。仪表的准确度等级表示该仪表的最大引用相对误差，该仪表可能出现的最大绝对误差为

$$\Delta x_m = \pm 1.0\% \times 100 \text{ V} = \pm 1 \text{ V}$$

由式(1.9)可知，测量的绝对误差 Δx 满足

$$\Delta x \leq x_m \cdot S\%$$

$$\gamma_x \leq (x_m \cdot S\%) / x$$

式中， S ——仪表的准确度等级。

测量中总要满足 $x \leq x_m$ ，可见当仪表的准确度等级确定后， x 越接近 x_m ，测量的示值相对误差越小，测量准确度越高。因此，在测量中选择仪表量程时，应使指针尽量接近满偏转，一般最好指示在满刻度值的 $2/3$ 以上的区域。应该注意，这个结论只适用于正向线性刻度的电压表、电流表等类型的仪表。

例 1.3 被测电压的实际值在 10 V 左右，现有 150 V、0.5 级和 15 V、1.5 级两块电压表，问选用哪块表测量更为合适？

解：若用 150 V、0.5 级电压表，由式(1.9)可求得测量的最大绝对误差为

$$\Delta x_{m1} = \pm 0.5\% \times 150 \text{ V} = \pm 0.75 \text{ V}$$

示值范围为 $(10 \pm 0.75) \text{ V}$ ，则测量的相对误差为

$$\gamma_{A1} = \frac{\pm 0.75}{10} \times 100\% = \pm 7.5\%$$

用 15 V、1.5 级电压表测量， $\Delta x_{m2} = \pm 1.5\% \times 15 \text{ V} = \pm 0.225 \text{ V}$ ，示值范围为 $(10 \pm 0.225) \text{ V}$

$$\gamma_{A2} = \frac{\pm 0.225}{10} \times 100\% = \pm 2.25\%$$

显然，应选用 15 V、1.5 级电压表测量。由此例可见，测量中，应根据被测量的大小，合理选